

10/516380

RECEIVED	
18 MAR 2004	
WIPO	PCT

Rec'd PCT/PTO 30 NOV 2004
PCT/JP 2004/000014 #2

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

06. 1. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 1月 6日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-000089
[ST. 10/C]: [JP 2003-000089]

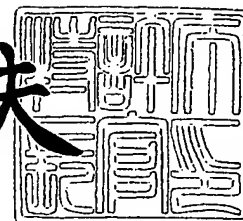
出 願 人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 3月 4日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特2004-3008880

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH146529

【提出日】 平成15年 1月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明の名称】 p 型窒化物半導体構造及びバイポーラトランジスタ

【請求項の数】 4

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号日本電信電話株式会社内

【氏名】 牧本 俊樹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号日本電信電話株式会社内

【氏名】 熊倉 一英

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号日本電信電話株式会社内

【氏名】 小林 直樹

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088096

【弁理士】

【氏名又は名称】 福森 久夫

【電話番号】 03-3261-0690

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007467

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 p型窒化物半導体構造及びバイポーラトランジスタ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 エッチングによる加工を施したp型窒化物半導体の上に、Inを含むp型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とするp型窒化物半導体構造。

【請求項2】 上記Inを含むp型窒化物半導体層がp型InGaNであることを特徴とする請求項1記載のp型窒化物半導体構造。

【請求項3】 ベース層がp型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ層をエッチングすることにより露出させたp型ベース層の表面に、Inを含むp型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とする窒化物バイポーラトランジスタ。

【請求項4】 上記p型ベース層がp型InGaNであることを特徴とする請求項3記載の窒化物バイポーラトランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

【0001】

窒化物半導体はバンドギャップが大きいという特徴があるので、様々な光・電子デバイスに用いられようとしている。本発明は、この窒化物半導体のp型窒化物半導体構造に関するものである。さらに、高出力パワーアンプなどに利用される窒化物半導体バイポーラトランジスタに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

【非特許文献1】

T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, J. Cryst. Growth, 221, P. 350-355 (2000)

【非特許文献2】

T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi

hi, phys. stat. sol. (a), P. 183-186, No. 1, 183 (2001)

【非特許文献3】

L. S. McCarthy, P. Kozodoy, M. J. W. Rodwell, S. P. DenBaars, U. K. Mishra, IEEE Electron Device Letters, 20, P. 227-279 (1999)

【非特許文献4】

B. S. Shelton, D. J. H. Lambert, Jian Jang Huang, M. M. Wong, U. Chowdhury, Ting Gang Zhu, H. K. Kwon, Z. Liliental-Weber, M. Benaroma, M. Feng, R. D. Dupuis, IEEE Trans. Electron Devices, 48, P. 490-494 (2001)

【非特許文献5】

K. P. Lee, A. P. Zhang, G. Dang, F. Ren, J. Han, S. N. G. Chu, W. S. Hobson, J. Lopata, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, J. W. Lee, Solid-state Electron., 45, P. 243-247 (2001)

エッチングなどで加工したp型窒化物半導体の表面は、加工によってダメージを受ける。このダメージはn型の伝導性を示すために、加工したp型窒化物半導体の表面にオーミック電極を形成しても良好な電流-電圧(I-V)特性を得ることができない(T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, J. Cryst. Growth, 221, P. 350-355 (2000):非特許文献1、T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, phys. stat. sol. (a), P. 183-186, No. 1, 183 (2001):非特許文献2)。

【0003】

このダメージの影響を減少させることを目的として、ダメージを受けた層の上に、新たにp型半導体を成長する方法が報告されている。ここでは、ベース層が

p 型窒化物半導体である npn 型窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT) に関する研究を中心に従来の技術を説明する。

【0004】

HBT を作製する典型的なプロセスの一例を図 8 に示す。HBT 作製プロセスでは、ベース電極を形成するために、エミッタ層をエッチングで除去してベース面を露出させる。この露出した面にベース電極を形成する。この露出したベース面はエッチングダメージを受けているために、ベース層が p 型 GaN の場合のベース電極は良好な I-V 特性を示さない。さらに、作製した HBT は良好なエミッタ接地 I-V 特性を示さない。つまり、従来の HBT のエミッタ接地 I-V 特性では、電流利得が小さく、また、立ち上がり電圧が大きい、という問題があった。このベース層表面のダメージの影響を減少させることを目的として、ダメージを受けた p 型窒化物半導体ベース層の上に、新たな p 型半導体を成長する方法が報告されている。

【0005】

以下に、これらの従来方法について述べる。ダメージの影響を減少させるための一つ目の方法は、ダメージを受けた表面に p 型 GaN を再成長する方法である (L. S. McCarthy, P. Kozodoy, M. J. W. Rodwell, S. P. DenBaars, U. K. Mishra, IEEE Electron Device Letters, 20, P. 227-279 (1999)). : 非特許文献 3、B. S. Shelton, D. J. H. Lambert, Jian Jang Huang, M. M. Wong, U. Chowdhury, Ting Gang Zhu, H. K. Kwon, Z. Liliental-Weber, M. Benarama, M. Feng, R. D. Dupuis, IEEE Trans. Electron Devices, 48, P. 490-494 (2001). : 非特許文献 4)。

【0006】

その構造の模式図を図 9 に示す。いずれの報告でも、ベース層の再成長を行なっているのにもかかわらず、HBT の電流利得は 10 以下であり、大きな値は得られていない。

【0007】

また、非特許文献3では、エミッタ接地 I-V 特性における立ち上がり電圧は、5 V 以上である。

【0008】

非特許文献4では、報告されているエミッタ接地 I-V 特性は漏れ電流が大きいため、立ち上がり電圧を測定することは不可能である。

【0009】

このように、エッチングによって露出したベース層の上に p 型 GaN を再成長（外部ベース層と呼ぶこともある。）しても、HBT の特性はほとんど改善されなかった。p 型窒化物半導体の典型的な例である p 型 GaN を用いた再成長の場合では、再成長界面に存在する加工ダメージを修復できなかったために、HBT の特性が改善されなかったものと考えられる。このことは、良好な HBT を作製するためには、再成長する材料が重要であることを示している。

【0010】

二つ目の方法は、p 型 GaN を再成長する代わりに、ダメージを受けた表面に p 型 GaAs を再成長する方法である（K. P. Lee, A. P. Zhang, G. Dang, F. Ren, J. Han, S. N. G. Chu, W. S. Hobson, J. Lopata, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, J. W. Lee, Solid-state Electron., 45, P. 243-247 (2001). : 非特許文献5)。p 型 GaAs の正孔濃度は 10^{20} cm^{-3} であり、室温における p 型 GaN の正孔濃度よりも 100 倍以上も高い。良好な HBT 特性を得ることを目的として、この高い正孔濃度に注目した報告である。

【0011】

しかしながら、p 型 GaAs の再成長を行なっても、エミッタ接地 I-V 特性における電流利得は 5 以下、立ち上がり電圧は 3.5 V 以上であり、良好な HBT 特性が得られていない。この場合も、p 型 GaN ベース層と p 型 GaAs 成長層の間に存在する加工ダメージを修復することができなかったために、HBT 特性が改善されなかったものと考えられる。このことは、ただ単に、加工ダメージ

を受けた p 型 GaN の上に再成長した層の正孔濃度を高くしても、良好な HBT を作製することはできないことを示している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の第一の目的は、加工した p 型窒化物半導体の表面上に良好なオーミック電極を形成することが困難であった点を解決し、良好なオーミック電極を形成することのできる p 型窒化物半導体構造を提供することにある。

【0013】

本発明の第二の目的は、従来の窒化物半導体バイポーラトランジスタの電流利得が他の半導体で作製したバイポーラトランジスタの電流利得よりも著しく小さかった点を解決し、電流利得を飛躍的に向上させた窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供することにある。

【0014】

本発明の第三の目的は、従来の窒化物半導体バイポーラトランジスタの立ち上がり電圧がバンドギャップから予想される値よりも著しく大きかった点を解決し、バンドギャップから予想される値に近い値まで減少させることのできる窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明は、エッチングによる加工を施した p 型窒化物半導体の上に、In を含む p 型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とする p 型窒化物半導体構造である。

【0016】

また、本発明は、ベース層が p 型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ層をエッチングすることにより露出させた p 型ベース層の表面に、In を含む p 型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とする窒化物バイポーラトランジスタである。

【0017】

すなわち、本発明は、加工した p 型窒化物半導体の上に In を含む p 型窒化物

半導体を再成長した構造であることを最も主要な特徴とする。なお、従来の技術とは、再成長した p 型窒化物半導体に In が含まれている点異なる。

【0018】

【作用】

加工ダメージを受けた p 型窒化物半導体の上に In を含む p 型窒化物半導体を成長させた場合には、In 原子によって良好な再成長界面が得られ、加工ダメージを大幅に減少させることができる。その結果、良好なオーミック電極を形成することができる。本発明をバイポーラトランジスタの外部 p 型ベース層の再成長に適用すれば、加工ダメージにより発生するベース漏れ電流が減少する。その結果、飛躍的な電流利得の向上、および、低い立ち上がり電圧を得ることができる。

【0019】

【実施例】

本例では、図 1 に示す窒化物バイポーラトランジスタを作成した。以下より詳細に述べる。

【0020】

このバイポーラトランジスタは、ベース層 2 が p 型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ層 1 をエッチングすることにより露出させた p 型ベース層 2 の表面に、In を含む p 型窒化物半導体層 8 を成長させた窒化物バイポーラトランジスタである。本例では、p 型ベース層 2 は p 型 InGa_{0.5}N_{0.5} である。

【0021】

以下より詳細に述べる。有機金属気相成長法 (MOVPE 法) を用いて SiC 基板 7 上に npn 型 HBT を作製した。成長した層構造の模式図を図 2 に示す。エミッタ層 1 は n 型 GaN、ベース層 2 は p 型 InGa_{0.5}N_{0.5}、コレクタ層 4 は n 型 GaN であり、ダブルヘテロ構造を採用した。コレクタ層 4 はトリメチルガリウム、アンモニアを用いて 1000℃ で成長した。グレーデッド InGa_{0.5}N_{0.5} 層 3、ベース層 2、コレクタ層 4 は、トリメチルインジウム、トリエチルガリウム、アンモニアを用いて 780℃ で成長した。p 型不純物には Mg 原子を用い、n 型

不純物にはSi原子を用いた。

【0022】

ベース層2にはp型InGa_Nを用いているが、このp型InGa_NのIn組成が大きくなるとGa_Nとの格子定数差が大きくなるため、欠陥密度が増加する。この結果、少数キャリアの寿命が短くなるので、電流利得が小さくなる恐れがある。そこで、本実施例におけるp型InGa_NのIn組成は7%と比較的小さな値を用いた。これに対して、In組成が小さいと加工ダメージの影響が大きくなるので（非特許文献1参照）、電流利得と加工ダメージの関係はトレードオフの関係にあると考えられる。かかる点から、p型InGa_Nベース層2のIn組成は、5%から30%程度が望ましい。また、p型InGa_Nベース層2とn型Ga_Nコレクタ層4とを単純に接合させると、ベース層2とコレクタ層4との間に伝導帯不連続によるスパイクが発生する。このスパイクは、エミッタ層1からベース層2に注入された電子がコレクタ層4へ走行するのを妨げるので、電流利得を減少させる。この影響を無くすために、ベース層2とコレクタ層4との間にIn組成を徐々に変化させたグレーデッドInGa_N層3を挿入した。

【0023】

まず、塩素ガスを用いたドライエッチング（反応性イオンエッチング）によって、図2に示すHBT層構造に対する加工を行いベース面およびコレクタ面を露出させた。

【0024】

次に、p型InGa_Nベースを再成長させたくない部分をSiO₂マスク9で覆った。その後、トリメチルインジウム、トリエチルガリウム、シクロペンタジエニルマダネシウム（Mg原子の原料ガス）、アンモニアを用いて、p型InGa_Nベース8を外部ベース上に再成長させた。この再成長の成長温度は、ベース層2を成長させた温度（本実施例では780℃）よりも低い温度とすることが望ましいので、本実施例では750℃とした。

【0025】

この再成長させるp型InGa_Nベース8のIn組成は、p型InGa_N層2のIn組成よりも高いことが望ましい。再成長を行なった後の様子を模式的に表

した図を図3に示す。この後、 SiO_2 マスク9をHFで除去し、各電極（ベース電極9、コレクタ電極10）を電子ビーム蒸着により形成した。最終的に作製したHBTの模式図を図1に示す。

エミッタ電極の大きさは、 $50\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$ である。

【0026】

本例で再成長させたp型InGaNベース8上に二つのPd/Au電極を形成し、その電極間のI-V特性を測定した。図4は、p型InGaNベース8を再成長させた場合のI-V特性（実施例）と再成長をしなかった場合（従来方法）とのI-V特性を比較して示している。従来方法では、エッチングダメージのために、オーミック特性が得られなかった。これに対して、実施例のようにp型InGaNベース8を再成長をさせた場合には、I-V特性が大幅に改善されていることがわかる。

【0027】

本発明を使用せずに、図8の典型的なHBTプロセスによって、HBTを作製した。非特許文献2で紹介されているエミッタ接地特性の一例を図5に示す。このHBTでは、p型InGaN層をベース層に用いているので、加工ダメージはp型GaNの場合よりも少ない。それにもかかわらず、電流利得の最大値は20程度であり、立ち上がり電圧は6V程度である。立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレは5V以上である。これに対して、本実施例におけるHBTのエミッタ接地I-V特性を図6に示す。電流利得の最大値は2500以上である。図7は、立ち上がり電圧を調べるために、小さな電流値で測定したエミッタ接地I-V特性である。図7から、立ち上がり電圧は0.27Vであることがわかる。GaNEミッタ層1とIn組成が7%のInGaNベース層2の伝導帯不連続量は0.2Vであるので、この不連続量にほぼ等しい立ち上がり電圧が得られた。立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレは0.1V以下である。このように、従来方法で作製した場合に比べ、本例におけるHBTは、電流利得は100倍以上に大幅に増加し、立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレも1/50以下に激減した。

【0028】

以上のように、再成長層に p 型 InGa_N ベース 8 を用いることにより、HBT の特性を大幅に改善することができる。p 型窒化物半導体に含まれる In 原子によって、加工ダメージが修復されたためであると考えられる。

【0029】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、加工ダメージのある p 型窒化物半導体の上に In を含む p 型窒化物半導体を再成長することにより、加工ダメージが修復され、オーミック特性が大幅に改善される。このため、本発明を HBT のベース層に適用すれば、電流利得および立ち上がり電圧を大幅に改善することができるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明を用いて作製した HBT 構造を模式的に表した図を示す。

【図 2】

実施例で使用した npn 型 HBT の層構造の模式図を示す。

【図 3】

p 型 InGa_N の再成長を行なった後の様子を模式的に表した図を示す。

【図 4】

p 型 InGa_N を再成長した場合の I-V 特性（本発明）と再成長をしなかった場合（従来構造）の I-V 特性を比較した図を示す。

【図 5】

従来の方法で作製した HBT のエミッタ接地特性の一例を示す。

【図 6】

実施例における HBT のエミッタ接地 I-V 特性を示す。

【図 7】

立ち上がり電圧を調べるために、小さな電流値で測定したエミッタ接地 I-V 特性を示す。

【図 8】

HBT を作製する典型的な従来のプロセス（再成長無し）の一例を示す。

【図 9】

エッチングダメージを受けた p 型 GaN に p 型 GaN を再成長した場合の従来例に係る HBT 構造の模式図を示す。

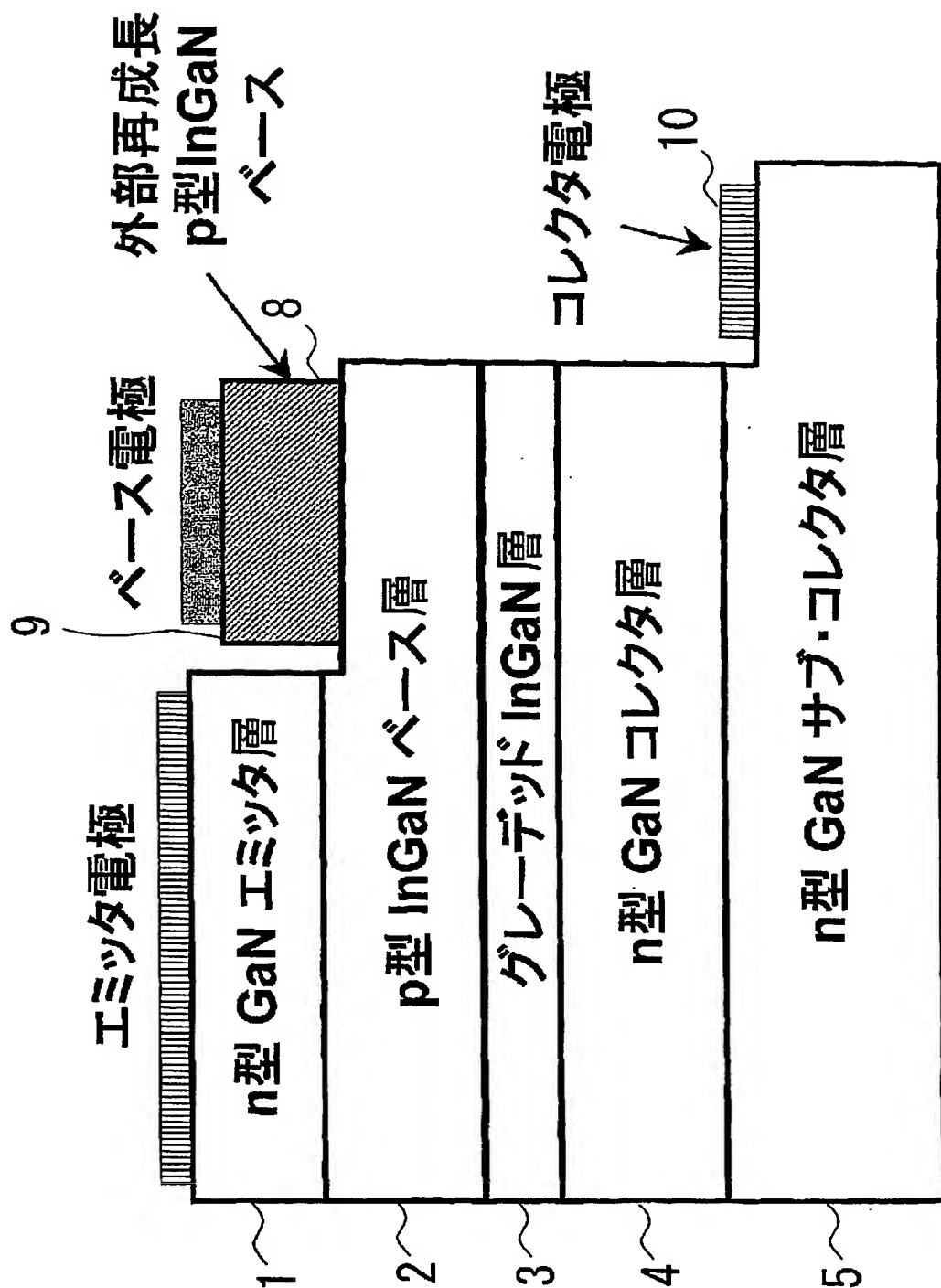
【符号の説明】

- 1 n 型 GaN エミッタ層、
- 2 p 型 InGaN ベース層
- 3 グレデッド InGaN 層
- 4 n 型 GaN コレクタ層
- 5 n 型 GaN サブ・コレクタ層
- 6 AlN バッファ層
- 7 SiC 基板
- 8 外部成長 p 型 InGaN ベース
- 9 ベース電極
- 10 コレクタ電極

【書類名】

凶面

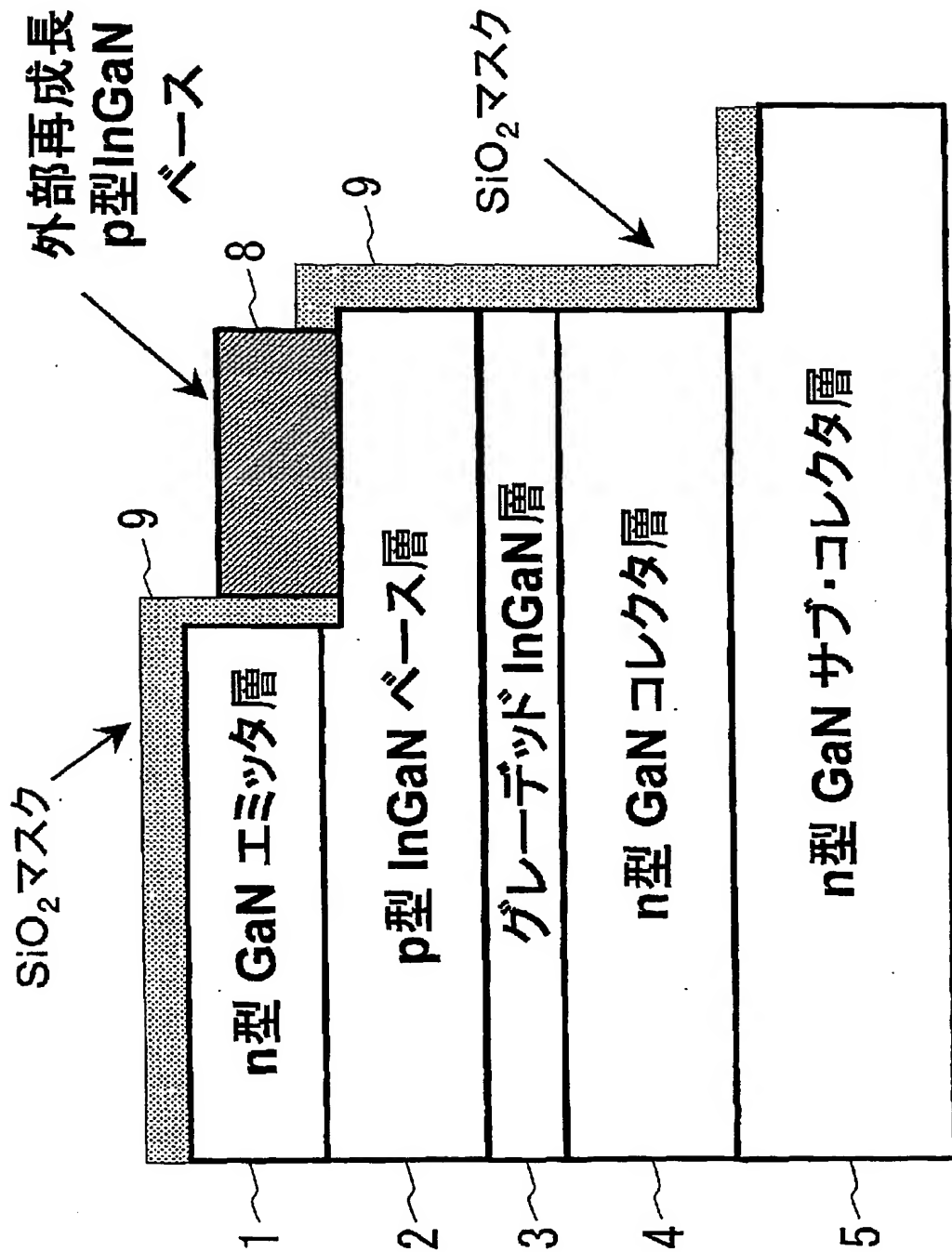
【図 1】



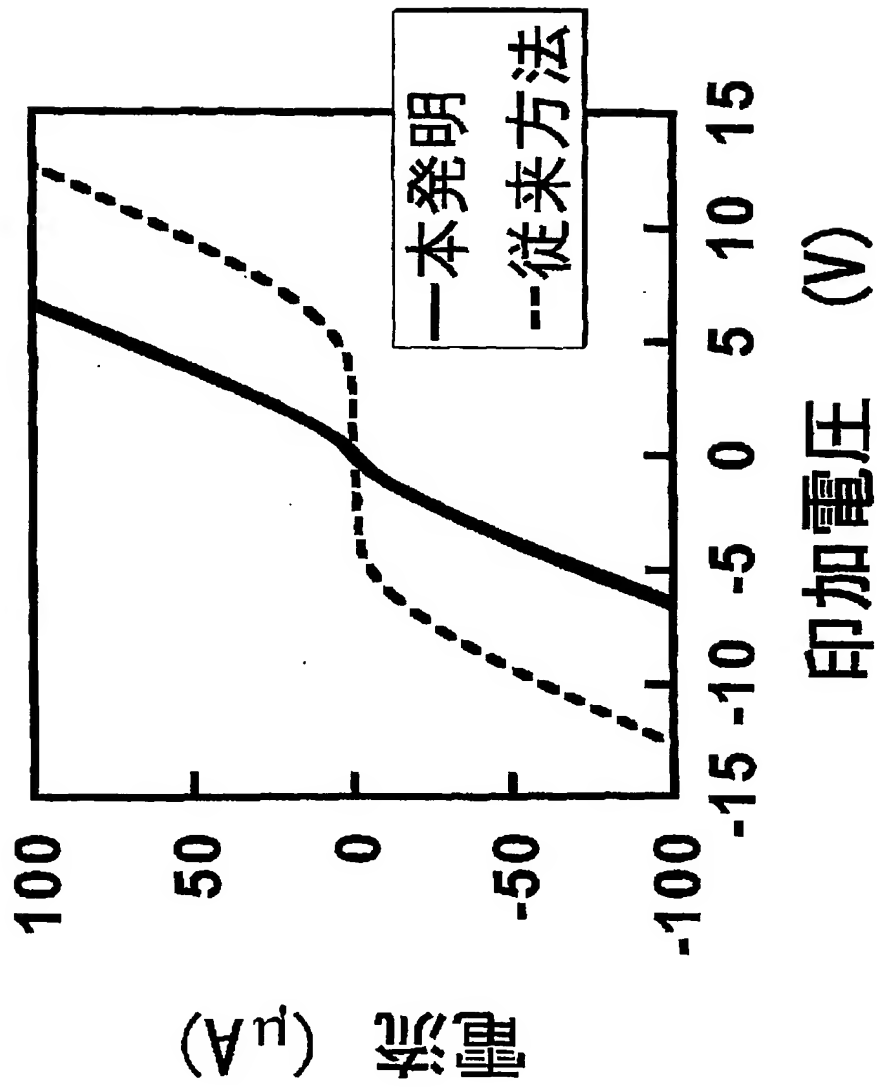
【図 2】

1	n型 GaN エミッタ層 (Si : $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 40 nm)
2	p型 InGaN ベース層 (In : 7%, Mg : $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 100 nm)
3	グレーデッド InGaN 層 (30 nm)
4	n型 GaN コレクタ層 (Si : $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 500 nm)
5	n型 GaN サブ・コレクタ層 (1 μm)
6	AlN バッファ層 (100 nm)
7	SiC 基板

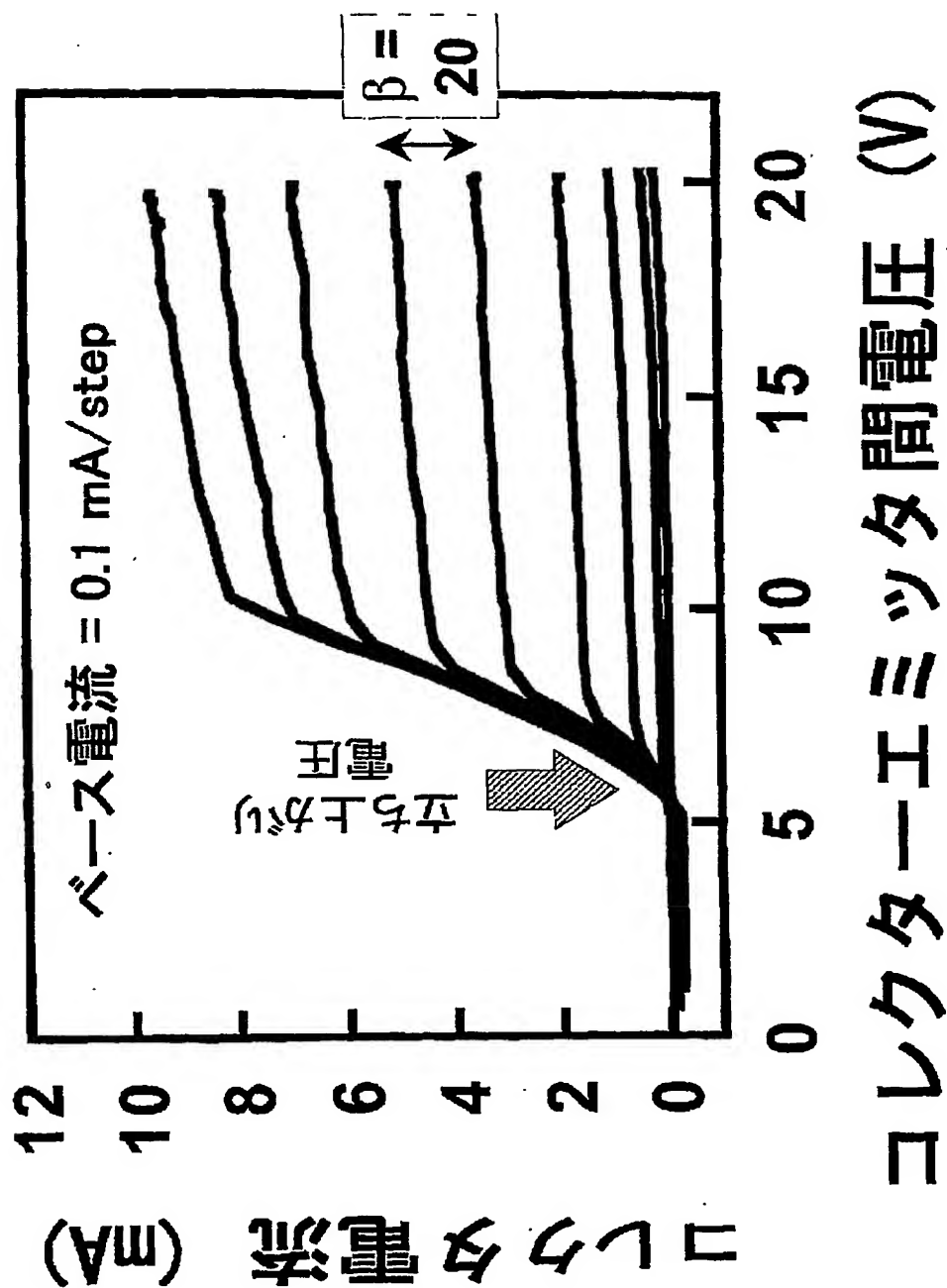
【図3】



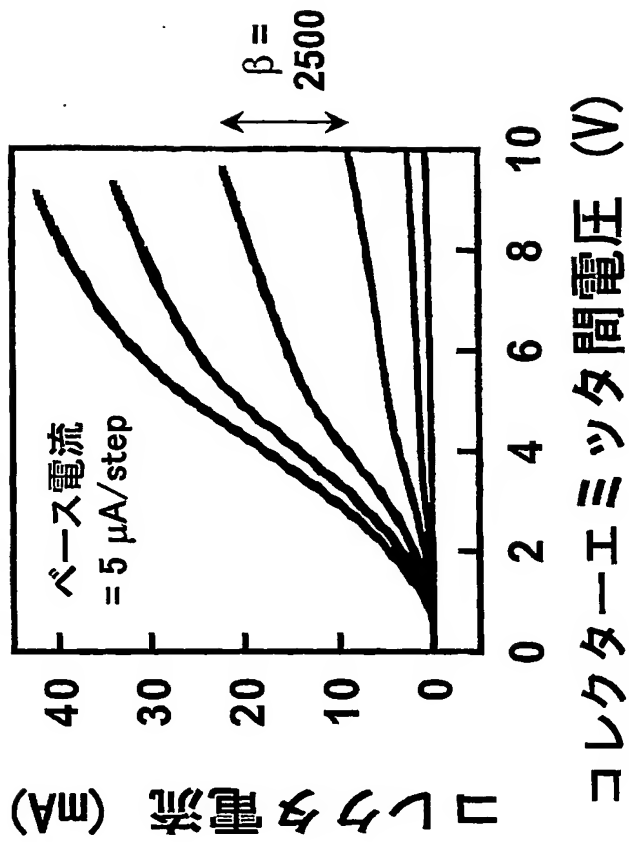
【図 4】



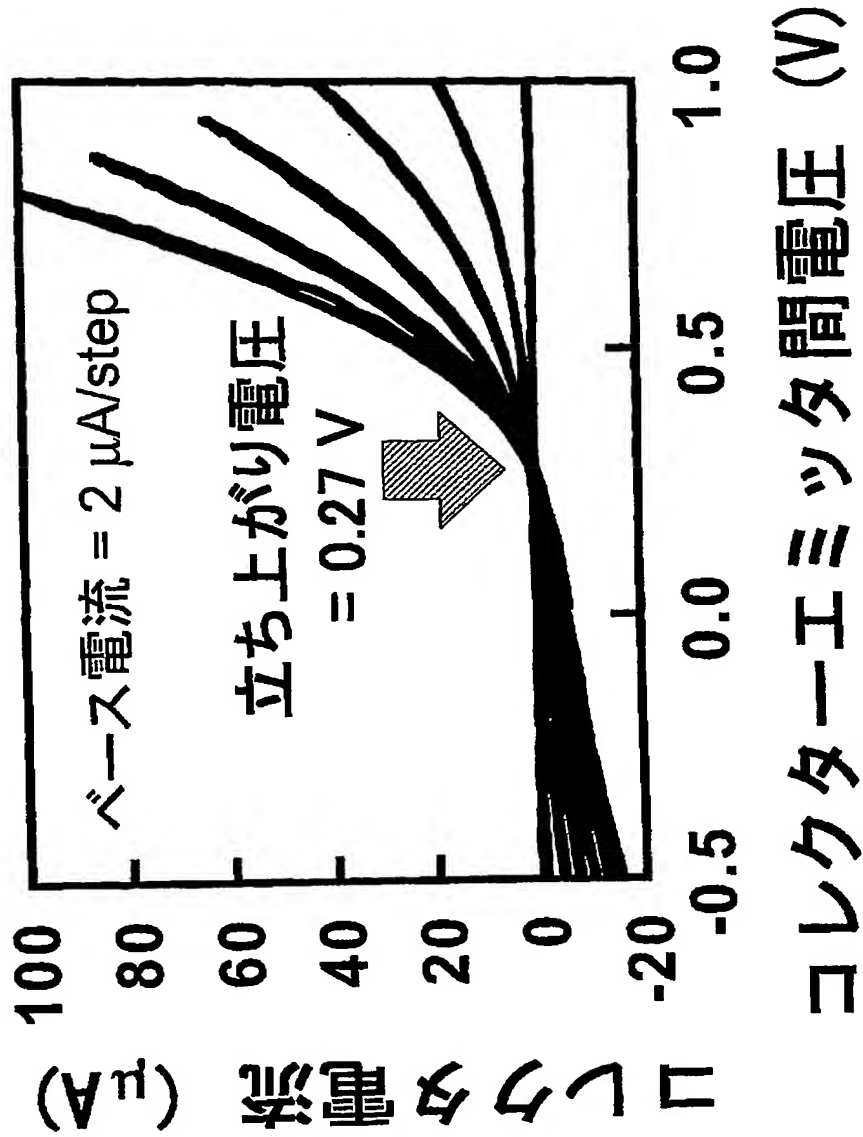
【図 5】



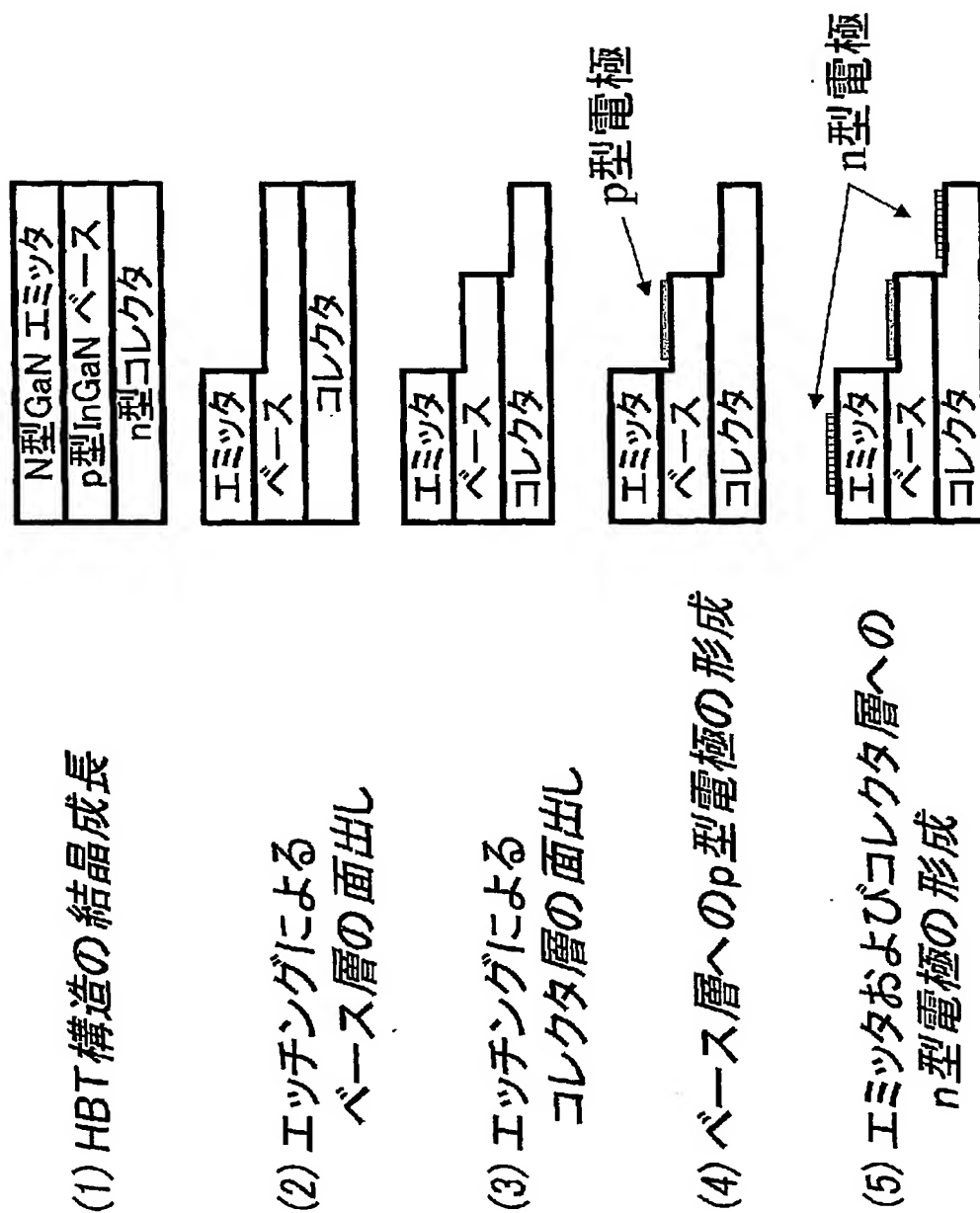
【図 6】



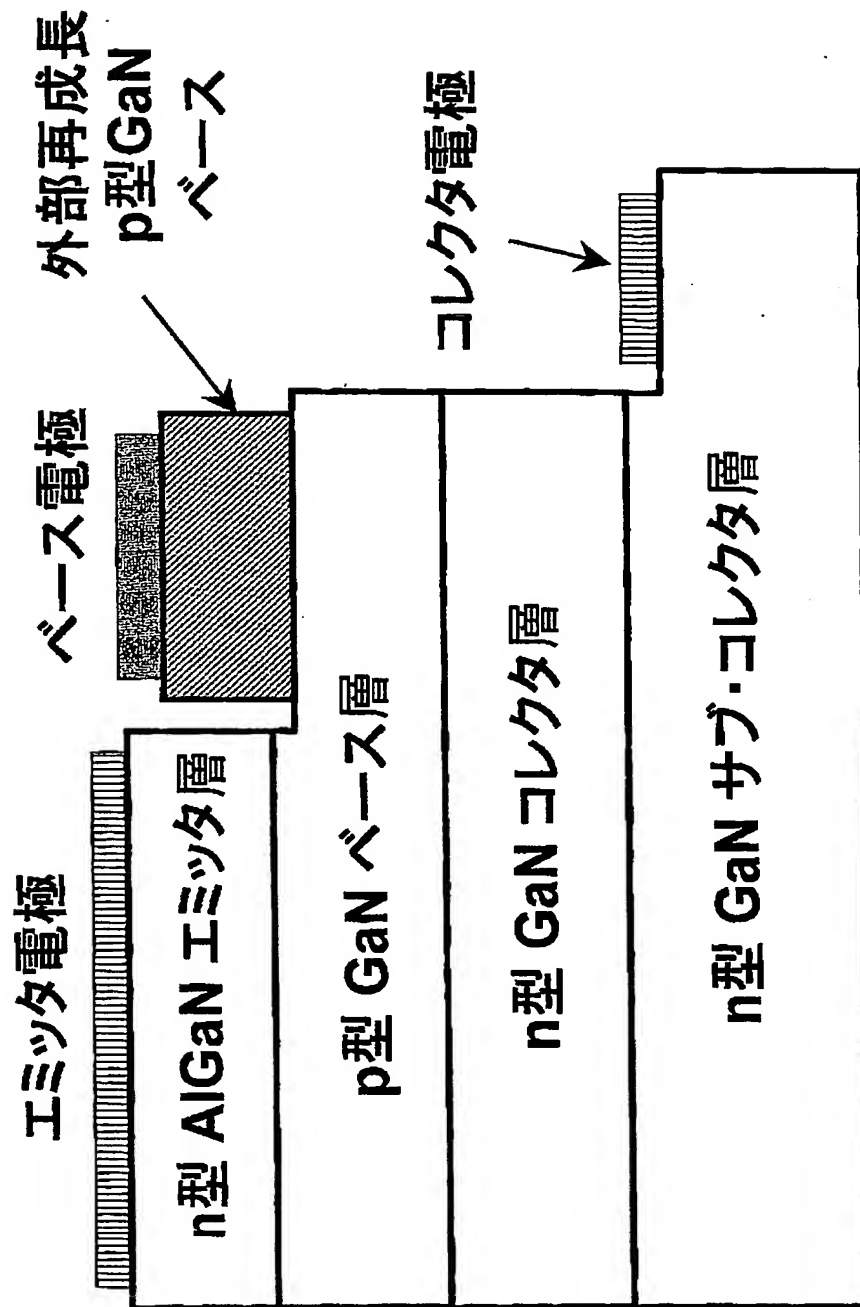
【図 7】



【図8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 加工ダメージのある p 型窒化物半導体の上に In を含む p 型窒化物半導体を再成長することにより、加工ダメージが修復され、オーミック特性が大幅に改善された p 型窒化物半導体構造を提供すること。また、電流利得および立ち上がり電圧を大幅に改善することができた p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供すること。

【解決手段】 エッチングによる加工を施した p 型窒化物半導体 2 の上に、In を含む p 型窒化物半導体層 8 を成長させたことを特徴とする。ベース層が p 型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタ 3 において、エミッタ層 1 をエッチングすることにより露出させた p 型窒化物半導体ベース層 2 の表面に、上記 In を含む p 型窒化物半導体ベース 8 を成長させることを特徴とする。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 0 0 0 8 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日 1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名 日本電信電話株式会社